

Energiatehnoloogia instituut, 2016. aasta teadus- ja arendustegevuse aruanne

1. Struktuuriüksuse struktuur 2017. a (täidab teadusosakond)

Energiatehnoloogia instituut
Department of Energy Technology
Andres Siirde, andres.siirde@ttu.ee, +372 620 3902

2. Teadus- ja arendustegevuse ülevaade uurimisrühmade lõikes

2.1 Uurimisrühm

Põlemisprotsesside teadusuuringute laboratoorium – Research laboratory of combustion processes

Juht: Tõnu Pihu, juhtivteadur,

Liikmed:

Andres Siirde, professor
Alar Konist, vanemteadur
Dmitri Nešumajev, vanemteadur
Indrek Külaots, vanemteadur
Eduard Latõsov, insener
Sulev Soosaar, Insener
Meelis Eldermann, doktorant
Lauri Loo, teadur (doktorant)
Birgit Maaten, teadur (doktorant)

Teadustöö lühikirjeldus:

Grupp tegeleb uute põlevkivi ja teiste kohalike kütuste tõhusa ja keskkonnasõbraliku kasutamise uurimisega. Teemad hõlmavad järgmisi alus- ja rakendusuuringuid: Keskkonnaalasel ja majanduslikult konkurentsivõimeline uute tehnoloogiate madala kvaliteediga kütuse põhinev energia tootmine - Clean Eesti Põlevkivi; Kohalikel kütustel töötavate jõuallikate ohutus, usaldusväärsus ja keskkonnaprobleemid; Kombineeritud kasutamine (gaasistamine) põlevkivi ja biomassi energia tootmiseks.

Peamised tulemused on: tehnoloogia alusteadmised põlevkivi põletamisel hapniku rikkas keskkonnas. Tagada Eesti elektri ja soojuse tootmise usaldusväärsus, konkurentsivõime tõus, ökoloogilise jalajälje vähendamine. Efektiivsuse suurendamine energia seadmete konvektiivküttepindade suurendamisega. Alused põlevkiviõli ja elektrienergia tootmise optimeerimisest. Põhiteadmised kohalike biokütuste gaasistamise ja pürolüüsi kaudu. Järjepidevuse tagamine professionaalsele teaduse personalile.

Group deals with investigation of new opportunities for oil shale and other local fuels efficient and environment friendly utilisation. The topics involve following basic and applied research: Environmentally and economically competitive new technologies of low grade fuel based energy production – Clean Estonian Oil Shale; Local fuels fired power units safety, reliability and environmental problems; Combined utilization (gasification) of oil shale and biomass for energy production. The main results will be: technology basis for oil shale combustion in oxygen rich environment. Ensuring Estonian electricity and heat production reliability, increase in competitiveness, environmental footprint

reduction. Increase of effectiveness of energy equipment by augmentation of convective heat transfer. Fundamentals for Shale oil and power production optimization. Basic knowledge of local biofuels enhancement through gasification and pyrolysis. Consistency of professional science personnel.

Aruandeaastal juhitud olulisemas projektid/lepingud

- Lep14030 "Põlevkivielektriijaamade käiduga seotud soojustehniliste ja keskkonnavalaste probleemide lahendamine (12.02.2014–31.01.2017)", vastutav täitja Tõnu Pihu
- KIK16064 "Tahkete segukütuste- põlevkivi, uttegaasi, biomassi jt termilisel käitlemisel ja (26.10.2016–3.06.2018)", Andres Siirde

Olulisemad ilmunud artiklid:

- Maaten, B.; Loo, L.; Konist, A.; Nešumajev, D.; Pihu, T.; Külaots, I. (2016). Decomposition kinetics of American, Chinese and Estonian oil shales kerogen. *Oil Shale*, 33 (2), 167–183, 10.3176/oil.2016.2.05.
- Tugov, A. N.; Ots, A.; Siirde, A.; Sidorkin, V. T.; Ryabov, G. A. (2016). Development of measures to improve technologies of energy recovery from gaseous wastes of oil shale processing. *Thermal Engineering*, 63 (6), 430–438, 10.1134/S0040601516060082.

2.2 Uurimisrühm

Nutikad kaugkütelahendused ja kasvuhoonegaaside emissioonide keskkonnamõju integreeritud hindamine - Smart District Heating systems and Integrated Assessment Analysis of Greenhouse Gases Emissions

Juht: Andres Siirde, Professor

Liikmed:

Eduard Latõsov, insener

Sulev Soosaar, insener

Julija Gušca, külalisdotsent,

Vladisav Mašatin, doktorant

Meelis Eldermann, doktorant

Teadustöö lühikirjeldus:

Teadusrühm tegeleb uute tehniliste lahenduste väljatöötamisega selleks, et liikuda nutika, kõrge efektiivsusega ja taastuvenergia varustusega kaugküte kontsepti suunas ning kasvuhoonegaaside emissioonide keskkonnamõju integreeritud hindamisega. Kaasaaegsed kaugküte süsteemid vähendavad energia tarbimist ja CO₂ emissiooni. Teadusrühma poolt on käsitletud ja uuritud tehnilised tingimused kaugküte süsteemide arendamiseks ja energiaefektiivsuse parandamiseks. Seega, kaugküttes toimivate protsessid on kirjeldatud ja optimeeritud, kus selle aluseks on vastavad töötingimused ja kehtivad regulatsioonid. Soojuse tootmise, edastamise ja tarbimise kombineeritud optimeerimine annab olulist primaarenergia säästu.

Group deals with developing new technical solutions for the transition of district heating (DH) systems towards an intelligent, highly efficient and regenerative energy supply concept and with integrated assessment analysis of greenhouse gases emissions. Modern DH reduces energy consumptions and CO₂ emissions. Transition measures and technical solutions for DH systems are researched for enhancing its energy efficiency. Therefore, processes characterising DH systems are analysed and optimised, taking relevant operational boundary conditions and legal frameworks into account. Optimising the heat generation, distribution and consumption within DH systems, the primary energy use is improved.

Olulisemad teadustulemused:

Eesti keeles: Uurimisrühm on 2015. aasta uurimissuunana tegevuses analüüsinud kaugkütelahenduste temaatikat ja keskkonna jalajälge. Teadustulemused on avaldanud alljärgnevas publikatsioonides.

In English: Research group has analysed in 2016 district heating and environmental impacts related topics. Research results has appeared in following publications.

Koostöö teiste TA asutuste ja ettevõtetega:

Jätkus töögruppi aktiivne osalemine *BI-NET: Baltic Innovation Network for District Heating* projektis kui konsortsiumi liige, kuhu kuuluvad teadusasutused ja ettevõtted Saksamaalt, Rootsist, Taanist, Lätist ja Leedust.

Aruandeaastal juhitud olulisemas projektid/lepingud

- B55 "Aruka soojusenergia salvesti kasutamine neljanda põlvkonna kaugküttevõrkudes (1.05.2016–30.04.2019)", vastutav täitja Anna Volkova
- Lep16033 "Biometaani ühenditest tulenev mõju terasest ülekandeturustike korrosiooniriskile (21.03.2016–15.12.2016)", vastutav täitja Andres Siirde
- Lep15081 "Kaugkütte kaalumisteguri määramine sõltuvalt soojuse tootmisviisist ja kasutatavatest kütustest, selle kasutamine energiatõhususe miinimumnõuete arvutamisel ja soojuse paralleeltarbimise mõju kaugküte efektiivsusele (3.09.2015–3.03.2016)", Eduard Latõšov
- VFP16008 "ODYSSEE_MURE; toetav vahend energiatõhususe poliitika hindamiseks (1.02.2016–31.07.2018)", Inge Roos

Olulisemad ilmunud artiklid:

- Latõšov, E.; Kurnitski, J.; Thalfeldt, M.; Volkova, A. (2016). Primary Energy Factors for Different District Heating Networks: An Estonian Example. *Energy Procedia*, 96, 674–684, 10.1016/j.egypro.2016.09.126.
- Mašatin, V.; Latõšov, E.; Volkova, A. (2016). Evaluation factor for district heating network heat loss with respect to network geometry. *Energy Procedia*, 95: International Conference of Environmental and Climate Technologies - CONECT 2015. . Elsevier, 279–285.

2.3 Uurimisrühm

Enefit-280 õlitehase termiliste ja keemiliste protsesside uurimisgrupp – Enefit-280 shale oil factory thermal and chemical process research group

Juht: Dmitri Nešumajev, vanemteadur

Liikmed:

Alar Konist, dotsent

Tõnu Pihu, juhtivateadur

Andres Siirde, professor

Aleksandr Valtsev, doktorant

Uurimisgrupi teadustöö on SALAJANE.

The research work of this group is CONFIDENTIAL.

Aruandeaastal juhitud olulisemas projektid/lepingud

- Lep13180 "Seadme ENEFIT-280 soojustehniliste probleemide lahendamine (1.11.2013–31.01.2017)", Dmitri Nešumajev

Olulisemad ilmunud artiklid:

Eldermann, M.; Siirde, A.; Gusca, J. (2016). Prospects for hydrogen production in oil shale processing industry in Estonia: initial aspects of life cycle analysis. Energy Procedia , 95, 536–539, 10.1016/j.egypro.2016.09.081.

2.4 Uurimisrühm

Surveseadmete ohutu käidu uurimisrühm:

Researchgroup for safety operation of high pressure equipment

Juht: Ivan Klevtsov, professor

Liikmed:

Andrei Dedov, dotsent

Toomas Lausmaa, insener

Tatjana Bojarinova, insener

Uurimisgrupi teadustöö

Eestis toodetakse 95 % elektrist soojuselektrijaamades, mis töötavad põhiliselt põlevkivil, kohalikul madala kütteväärtusega kütusel. Enamik Narva soojuselektrijaamade seadmetest on ehitatud umbes 50 aastat tagasi ja nad kõik on ületanud oma projekteeritud tööea. Nende edasine käitamine on lubatav ainult energiablokkide põhiseadmete metalli seisundi pideva ning hoolika monitooringu korral. 2015. a. uuriti TTÜ STI uurimisgrupi poolt Eesti EJ energiablokkide nr. 2, 3, 5 ja 6 põhikomponentide metalli seisundit. Nendeks komponentideks on primaarauru ja vaheülekuumendi kuumaauru torustikud, katla trumlid, turbiinide korpused ja rootorid. Uurimisel kasutati mittepurustava kontrolli meetodeid: kõvaduse mõõtmist, metalli struktuuriuuringut (reeplikad), metalli mehaaniliste omaduste määramist uuritavast objektist väljalõigatud miniatuursetest katsetükkidest valmistatud teimikute abil, turbiini rootorite teljekanalite roomavusdeformatsiooni mõõtmist. Nende uurimiste põhjal määrati metalli järgmise kohustusliku kontrolli tähtaeg.

Oli uuritud ka värske- ning sekundaarauru küttepindade kõrgtemperatuuriline korrosioon ja määratud korrosiooni sügavuse kasv lähitulevikuks.

Tehti Eesti EJ ploki nr. 8 vaheülekuumendi kuumaaurutorustiku tugevusarvutus vedrutugede erinevatel koormustel pingete suhtes optimaalse variandi leidmiseks.

Hinnati Narva EJ turbiinide rootorite seisundit ja nende edasise käidu võimalikku pikkust.

95% of electricity in Estonia is produced at thermal power plants by firing of oil shale, low-grade local fuel. Most of the units of Narva power plants were built about 50 years ago and all of them have exceeded their design lifetime. Further operation of these units is allowable only if careful metal condition monitoring of the blocks main elements is carried out. In 2015 the research of metal condition of the basic components of units 2, 3, 5, and 6 in Eesti Power Plant was carried out by Department of Thermal Engineering. These components were main steam piping; hot reheat steam piping, boiler drums, turbine casings and rotors. The research was performed by NDT methods: hardness measurement, investigation of the metal structure (replication), mechanical properties measurement of the metal using miniature tensile specimens sampled from the components, the measurement of creep deformation of the internal rotor boors. Based on the results of the research it have been issued permission for a certain period of operation till the next mandatory inspection.

The high temperature corrosion of heating surfaces, particularly steam super heaters was also studied.

The strength calculation of hot reheat piping of power unit 8 in Eesti Power Plant at various loads on spring supports was carried out to find the variant with minimum stress level.

The condition of turbine rotors in Narva power plants and the duration of their further operation were assessed.

Aruandeaastal juhitud olulisemas projektid/lepingud

- Lep15036 "Eesti Energia Narva Elektriijaamad AS surveeadmete ohutu käitamise tagamise uuringud (1.04.2015–31.03.2017)", Ivan Klevtsov.

Olulisemad ilmunud artiklid:

- Dedov, A.; Klevtsov, I.; Lausmaa, T.; Hlebnikov, A.; Bojarinova, T. (2016). Corrosion and life assessment of Intrex™ superheater tubes in a CFB oil shale boiler. Applied Thermal Engineering, 101, 468–478, 10.1016/j.applthermaleng.2015.12.061.

2.5 Uurimisrühm

Kütuste ja õhuanalüüside (statsioonarsete saasteallikate õhuheitmete) ja soojustehniliste katsete uurimisgrupp - Fuel and air analyzes (stationary sources of air emissions) and thermal testing research group

Juht: Alar Konist, dotsent

Liikmed:

Jüri Loosaar, vanemteadur

Siim Link, vanemteadur

Teet Parve, teadur

Maaris Nuutre, keemiainsener

Illar Viilmann, insener,

Lauri Loo, teadur (doktorant)

Birgit Maaten, teadur (doktorant)

Teadustöö lühikirjeldus:

Antud teadusgrupi käsutuses on akrediteeritud teaduslaboratoorium, mis võimaldab välja anda sertifitseeritud analüüsitulemusi erinevate kliente toodud erinevate iseloomudega proovidele. Samuti tegeleb rühm lendtuha parema iseloomustamisega, et võimaldada tuha, mis on moodustunud hapniku ja CO₂ põlemise tingimustest. Eesmärgina leida tuhale tõhusamat kasutamist. NN "orgaanilised ja anorgaanilised" (süsinik) osa tuhast on edu võti, mis aitaks leida palju uusi kasutamise skeeme. Uuritakse tuhkade sorptsioonilisi omadusi ja käitumist an/orgaanilise aine tuhkade proovidest, et aidata leida uusi kasutusvõimalusi. Uuringutesse on rakendatud tänapäevane infrastruktuur: 60kW CFB katseseade, TGA / DSC-MS, LA-ICP-MS, WD-röntgenanalüsaatoril, gaasi adsorptsioon analüsaatori (Chemi ja physisorption mikro- ja mesopoorsete), elementanalüsaatoreid (CHNS ja O), jne.

Accredited laboratory group provides accredited sample analyses for various customers. Also the group deals with better characterization of the fly ash, in order to enable more effective use of the ash that is formed under oxyfuel combustion conditions. The "organic and inorganic" (carbon) portion of the ash is key to success in many new utilization schemes.

A broad-based scientific investigation is taken of the form, sorptive properties and behavior of the in/organic material in ash samples in order to help identify new commercial opportunities. Modern

infrastructure is applied: 60kW CFB test facility, TGA/DSC-MS, LA-ICP-MS, WD-XRF, Gas Adsorption Analyser (chemi and physisorption with micro- and mesopore), Elemental Analyzer (CHNS and O), etc.

Koostöö

- Al-Balqa Applied University, Jordan (Professor Omar Al-Ayeed)
- *School of Engineering, Brown University, USA (contact person Prof. Eric. M. Suuberg)*
- *Ghent University, Belgium (Professor Kevin van Geem)*

Olulisemad ilmunud artiklid:

- Konist, A.; Maaten, B.; Loo, L.; Nešumajev, D.; Pihu, T. (2016). Mineral sequestration of CO₂ by carbonation of Ca-rich oil shale ash in natural conditions. *Oil Shale*, 33 (3), 248–259, 10.3176/oil.2016.3.04.

Aruandeaastal juhitud olulisemas projektid/lepingud

- Lep16109 "VKG Energia OÜ Kohtla Järve elektrijaama deSO_x seadmete vastuvõtu katsesused (6.09.2016–31.01.2017)", Teet Parve.
- LEP16006 "Eesti elektrijaama 8 energiaploki katelde "heat rate" määramine (7.01.2016–19.02.2016)", Tõnu Pihu

2.6 Uurimisrühm

Keemiatehnika uurimisrühm- Chemical Engineering Research Group;

Juht: Vahur Oja, professor

Liikmed:

Zachariah Steven Baird, nooremteadur

Oliver Järvik, vanemteadur

Inna Kamenev, dotsent

Madis Listak, teadur

Rivo Rannaveski, assistent, doktorant

Carmen Siitsman, doktorant

Jelena Veressinina, lektor

Teadustöö ülevaade:

Teadustöö üldiseks valdkonnaks oli keemiatehnilised aspektid riskihinnangutes. Uuritavad teemad olid kahes laialdasemas alavaldkonnas: (1) süsteemide termodünaamika ja termodünaamilised omadused, seotud kondenseeritud faasist gaasifaasi aurustumisega; (2) põlevkivi utmisega seonduvad uurimistööd. Teadustöö väljundid: 2016. aastal publitseeriti 4 artiklit klassifikaatoriga 1.1 ning osaleti 4 rahvusvahelisel konverentsil 5 ettekandega. 2016 aastal juhendati 5 doktoranti, 6 magistranti. Lõpetamiseni viidi 5 magistranti ja 12 bakalaureust.

- **teadustöö lühikirjeldus**

2016 aastal teostati teadustööd orgaaniliste ainete põhiste süsteemide termodünaamika ja termodünaamiliste omaduste alamvaldkonnas ning põlevkivi utmise alamvaldkonnas. Esimeses alamvaldkonnas uuriti peamiselt hüdroksüülrühmi sisaldavaid orgaanilisi ühendite ja kukersiitset põlevkivist toodetud hüdroksüülrühmi sisaldava utteõli tehniliste fraktsioonide termodünaamilisi omadusi. Töö tulemusena on mõõdetud uusi katseandmeid ja on tegeletud neid katseandmeid kirjeldavate rakenduslike empiiriliste määramiskorrelatsioonide arendamisega, põhinedes nii omaduste

vahelistel kui ka FTIR spektri põhistel regressioonidel. Teises alamvaldkonnas tegeleti põlevkivi pürolüüsi uuringutega erinevatel pürolüüsi tingimustel.

In 2016 the research team has been actively engaged in the following research areas: (1) thermodynamic and transport properties of oxygenated pure compounds; and thermodynamic and transport properties of complex mixtures; (2) oil shale pyrolysis.

In the first sub-field, the activities were directed towards measuring thermodynamic properties of oxygenated organic compounds and narrow boiling range Kukersite oil shale oil fractions. Based on these data, the possibility of developing empirical thermodynamic property estimation techniques based on bulk properties and FTIR spectra was investigated. In the second sub-field pyrolysis of oil shales under various pyrolysis conditions were investigated.

- **aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused;**
- **koostöö teiste TA asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest) ;**

Esimese alamvaldkonna olulisemateks teadustulemusteks on olnud uued katseandmed hapnikurikaste orgaaniliste ühendite ja õlide termodünaamiliste omaduste valdkonnas. Need katseandmed on kasutatavad nii tehnoloogiate arendustes kui ka riskihinnangute teostamisel.

In the first sub-field the research resulted in new experimental data on various thermodynamic properties of oxygenated organic compounds and oils. The data can be used in chemical engineering process design and environmental risk assessment. In the second sub-field pyrolysis of oil shales under various pyrolysis conditions were investigated as an input to be used further in advanced pyrolysis models.

- Department of Environmental Sciences, Faculty of Science and Engineering, Macquarie University in Sydney, Australia (contact person Prof. Vladimir Strezov).
- School of Engineering, Brown University, USA (contact person Prof. Eric. M. Suuberg)

Olulisemad ilmunud artiklid:

- Rannaveski, R.; Järvik, O.; Oja, V. (2016). A new method for determining average boiling points of oils using a thermogravimetric analyzer: application to unconventional oil fractions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 126 (3), 1679-1688.
- Siitsman, C.; Oja, V. (2016). Application of a DSC based vapor pressure method for examining the extent of ideality in associating binary mixtures with narrow boiling range oil cuts as a mixture component. *Thermochimica Acta*, 637, 24-30.
- Baird, S. Z.; Oja, V. (2016). Predicting fuel properties using chemometrics: a review and an extension to temperature dependent physical properties by using infrared spectroscopy to predict density. *Chemometrics and intelligent Laboratory Systems*, 158, 41-47.